

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01584

研究課題名（和文）建築構造物の地震に対する総合的なレジリエンス評価法と免震・制振ハイブリッド設計法

研究課題名（英文）Overall seismic resilience evaluation method for building structures and design method for base-isolation structural-control hybrid systems

研究代表者

竹脇 出 (Takewaki, Izuru)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：20155055

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、最悪地震動の概念と構造物のレジリエンスの概念を巧みに組み合わせた信頼性の高い建物の構造設計法の枠組を創出し、「想定外の地震動」に対しても急激な耐震性能の低下を伴わない建築構造物の設計を可能とする体系を構築することにある。同時に、地震動入力と構造物特性の両者の不確定性を考慮した最悪ケースの想定に基づく新しい構造設計の枠組を構築する。さらに、地震発生から建物応答に至る「建築物の総合的なレジリエンス評価」という概念に焦点を当て、幅広い特性の地震動に対して早期に復旧可能な構造物の設計体系についても新たな指針を考える。特に、免震と制振を組み合わせたハイブリッド構造の設計法に注目する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでは、応答スペクトルや地震動基準化量（地動最大速度等）のレベル調整による名目上の安全率や余裕度の設定のみが可能であったが、これらは真の意味での安全率や余裕度を与えているとは言い難い。地震動の発生・伝播・サイト増幅メカニズムを考慮した一層高精度の安全レベル指標に対応する「設計用地震動の設定」が要請されている。本研究は、この要請に直接的に応えるものであるといえる。さらに、レジリエンスの概念について論じた研究は多いが、それを定量化して定式化した研究や、それを向上させるための設計法を提案した研究は国内外に存在しない。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this project is to propose a reliable method of building structural design by combining the concept of the worst earthquake input and the resilience of buildings and construct a structural design framework which enables the structural design of buildings without the rapid deterioration of performances under unpredictable earthquake ground motions. Furthermore, the proposed method based on the worst case can take into account the uncertainty in input ground motions and building structural models. The proposed method also includes the concept of overall evaluation of resilience of building structures which can respond to a broader class of design earthquake ground motions. Especially, a design method for base-isolation, building-control hybrid structural systems is tackled in detail.

研究分野：建築構造学

キーワード：断層近傍地震動 長周期長時間地震動 極限的地震動 ハイブリッド構造 レジリエンス インパルス  
入力 制振構造 免震構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

東京、名古屋、大阪などの大都市圏で観測された2011.3.11の長周期地震動は、それらの地域で予想される最大級の地震動とは到底言えない。また、その地震動に関連するパラメーターの不確実性については確かな理論が提示されているとは言い難く、最悪地震動の概念の導入による地震入力のパラメーター上限値の設定などの確かな理論が求められている(図1(a))。

想定外の地震動に対しても構造安全性を保持するような建物を設計するには、レジリエンスの概念(図1(b)参照)に基づく新しい構造設計法の展開が必要不可欠である。

これまでは、応答スペクトルや地震動基準化量(地動最大速度等)のレベル調整による名目上の安全率や余裕度の設定のみが可能であったが、これらは真の意味での安全率や余裕度を与えているとは言い難い。地震動の発生・伝播・増幅メカニズムを考慮した一層信頼性の高い安全レベル指標に対応する「設計用地震動の設定」が要請されている。

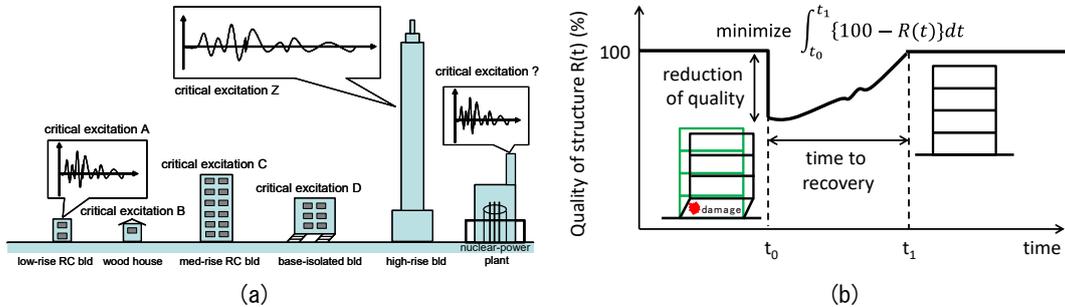


図1 建物に依存した最悪地震動の概念とレジリエンスの概念

2. 研究の目的

近年問題化している「想定外の地震動」という概念を払拭するには、地震動を構成するパラメーターの変動を許容する最悪地震動(極限外乱)の導入が必要不可欠である。本研究の目的は、最悪地震動の概念と構造物のレジリエンスの概念を巧みに組み合わせた信頼性の高い建物の構造設計法の枠組を創出し、「想定外の地震動」に対しても急激な耐震性能の低下を伴わない建築構造物の設計を可能とする体系を構築することにある(図2(a))。同時に、地震動入力と構造物特性の両者の不確実性を考慮した最悪ケースの想定に基づく新しい構造設計の枠組を構築する。さらに、地震発生から建物応答に至る「建築物の総合的なレジリエンス評価」という概念に焦点を当て、幅広い特性の地震動に対して早期に復旧可能な構造物の設計体系についても新たな指針を考える。特に、免震と制振を組み合わせたハイブリッド構造の設計法に注目する(図2(b))。

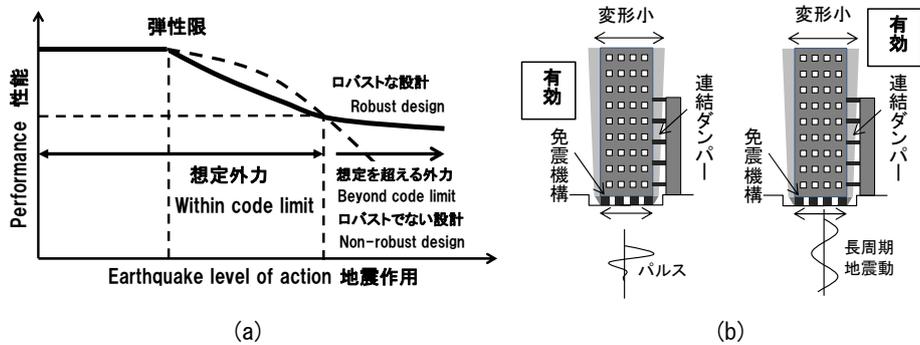


図2 想定外の地震動に対しても急激な耐震性能の低下を伴わない建築構造物の設計と免震と制振を組み合わせたハイブリッド構造

3. 研究の方法

(1) 地震発生から建物応答までを考慮した総合的なレジリエンス評価法

2011年の東北地方地震で明らかになったことは、深い地盤構造から大きな影響を受ける長周期地震動については、地震発生から波動伝播、サイト増幅に関するすべての事象を考慮した上で建築物の構造設計を行うことの重要性である。この総合的なモデルを対象とした成果を基に、これら一連の過程を詳細に考慮した上で、それぞれの特性が超高層建物や免震建物等の長周期構造物にどのような影響を及ぼすかを明らかにする。

(2) 地震動特性および構造物特性の不確実性を考慮した地震時最大応答予測法

本研究代表者らは、多くの不確定パラメーターが存在する場合に、最も大きな応答を示すパラメーターの組み合わせを見出す画期的な方法を提案している。この成果を基に、地震動特性および構造物特性の不確実性を考慮した地震時最大応答予測法を展開する。

(3) 制振と免震のハイブリッドシステムのレジリエンス評価法

2011年の東北地方地震や、2016年の熊本地震では、建物にとって想定外の入力が生じ得ることが改めて明らかとなった。これらの想定外の入力に対しても急激な性能の低下を生じさせな

い建物はロバストな設計を施されたものといえる。本研究では、図 2(b)に示すような、制振と免震のハイブリッドシステムを一例として取り上げ、パルスの地震動（特に長周期パルス）に対しても、また長周期地震動に対してもどのような性能を示すかを明らかにする。このシステムは、免震建物と副構造建物を連結した構造システムであり、パルスの地震動に対しては免震機構で、長周期地震動に対しては制振機構で抵抗するシステムである。最終的には、パルスの地震動と長周期地震動のレベルを増加させ、そのときの損傷レベルを評価することにより、レジリエンス評価を行う。

#### (4) 長周期パルス波に対して有効な制振システムの開発

2016 年熊本地震の西原村小森で観測された地震動のような想定外のレベルの地震動に対応するには、制振システムをストッパー的に用いることが有効であることを明らかにし、いくつかのシステムを提案する。また、想定外の地震動に対しては、ダンパーが損傷することも想定する必要があるため、そのような場合の建物の安全性評価についても検討する。

#### (5) 提案レジリエンス評価法の検証

上記(1)の方法により、自由地表面における地震動をあるばらつき範囲で求める。また、その中で最悪の応答を与える入力地震動を上記(2)の方法に基づき見出す。(1)で得られたばらつきを有する範囲の地震動と(2)の最悪地震動の両者を用いて、通常の構造物と(3)で扱った制振と免震のハイブリッドシステムを有する構造物の両者について骨組応答解析を実施し、(4)の方法も組み込んだ上で部材レベルの損傷評価とともに構造物全体のレジリエンスを評価する。その結果に基づき、提案レジリエンス評価法の妥当性と(3)で提案する制振と免震のハイブリッドシステムの有効性を検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 断層破壊と地震動伝播および表層地盤増幅を考慮した地震動モデルによる建物極限応答の想定とそれに基づく建物のロバスト性・レジリエンス性能評価法

断層破壊と地震動伝播および表層地盤増幅を考慮した地震動モデルとして、(1)位相差分を用いた方法(図 3)、(2)統計的グリーン関数法を用いた方法(図 4)、(3)3次元有限差分法を用いた方法(図 5、6)によるものを採用し、断層破壊過程の不確実性や地震基盤よりも上の地盤特性の不確実性を考慮した上で、極限的な入力に対する多層建物のロバスト性評価法を展開した。建物応答を極大にする極限外乱を対象とすることにより、種々の不確実性を的確に反映したロバスト性評価が可能となる。

入力地震動の位相差分を用いた模擬地震動作成手法を制振と免震のハイブリッドシステムのレジリエンス評価に用い、ハイブリッドシステムの減衰の総量(免震層と連結部分の両方)を増加させることにより、上部構造の加速度応答に関するロバスト性を急激に減少させることなく、免震層の層間応答変位に関するロバスト性を高めることができることを明らかにした。

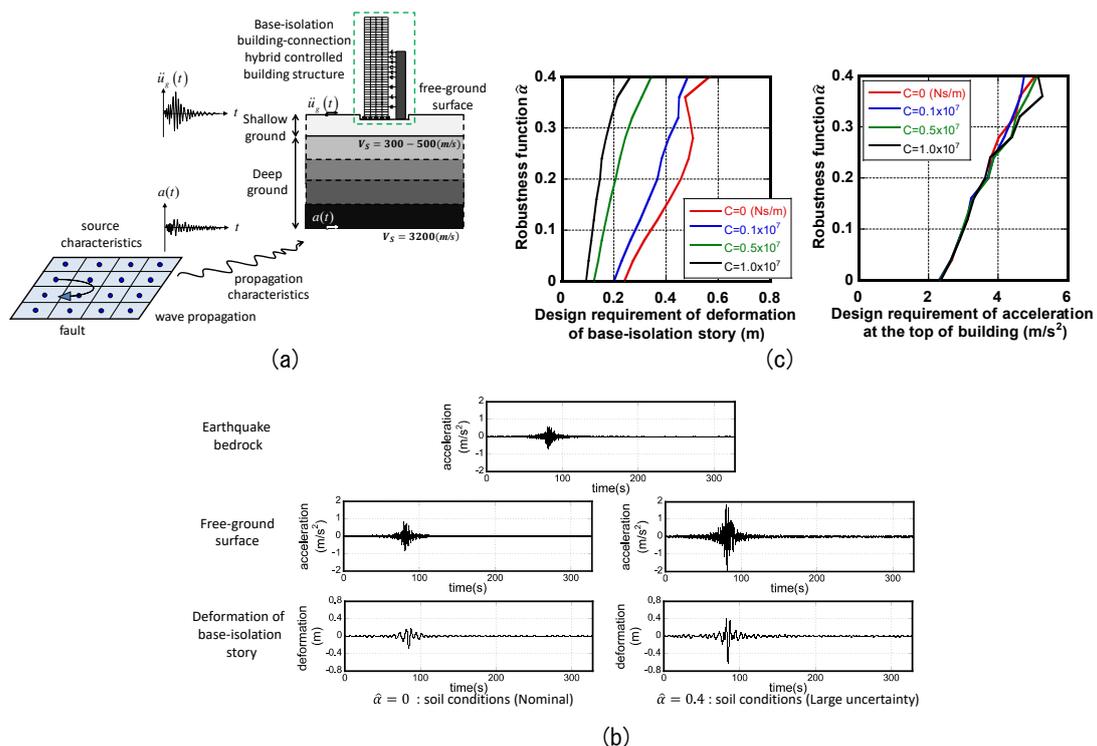


図 3 断層破壊と地震動伝播および表層地盤増幅を考慮した地震動モデルによる建物極限応答の想定とそれに基づく制振と免震のハイブリッドシステムのロバスト性評価

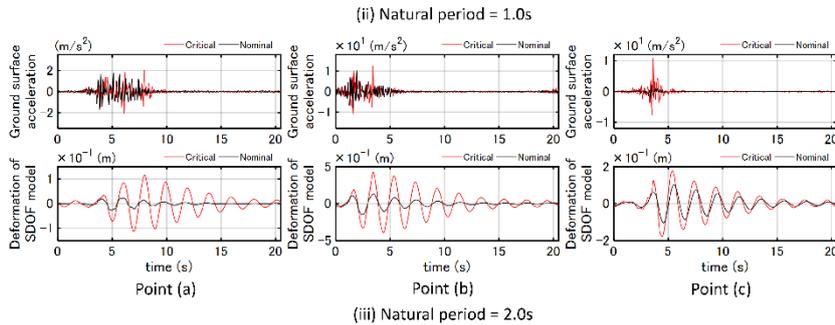
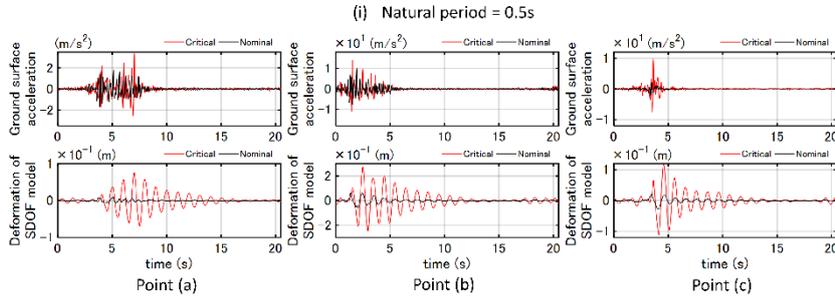
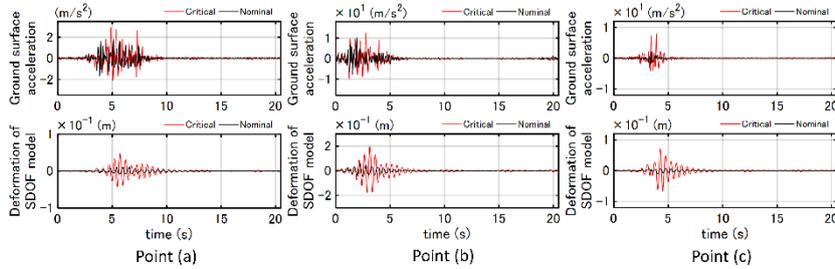
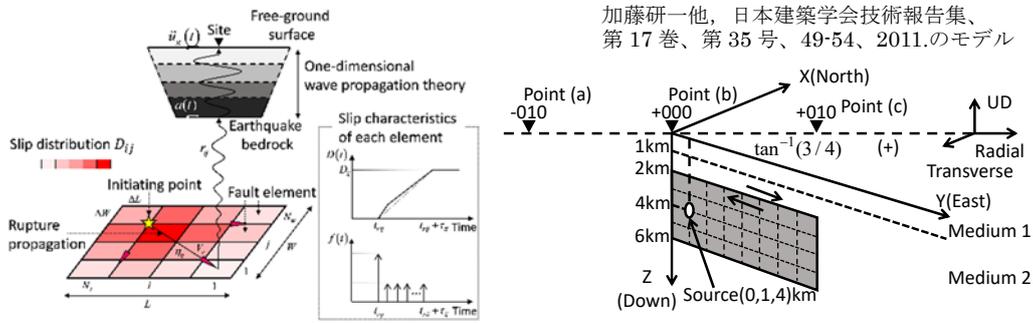


図4 統計的グリーン関数法を用いた地震動モデルによる極限地震動とそれに対する応答

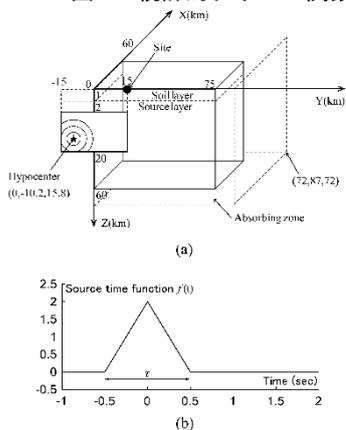


図5 3次元有限差分法

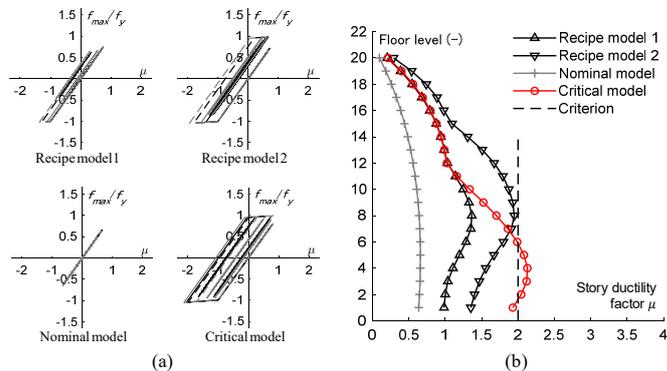


図6 20層建物の極限応答とノミナル応答

(2) 断層近傍地震動を模擬したダブルインパルス(DI)を受ける完全弾塑性型1自由度および多自由度モデルに対する極限外乱法の展開とそのレジリエンス評価法への適用

断層近傍地震動を模擬したダブルインパルス(DI)を受ける完全弾塑性型復元力特性を有する1自由度系について、粘性ダンパーを考慮したときの極限応答の閉形解を求める方法を提案した。エネルギーの釣り合いを検討する際、ダンパー減衰力-変位関係に2次関数近似を用いることでダンパーによる消費エネルギーが効率的かつ精度よく評価可能であることを明らかにした。さらに、極限的入力ではない一般的な振幅・振動数(インパルス間隔)を有するDIに対して、

倒壊限界を時刻歴応答解析等を用いずに簡易的に予測する方法を提案した。

断層近傍地震動を模擬した DI を受ける完全弾塑性型多自由度モデルに対する極限外乱法を展開し、極限タイミングは1層の層せん断力が0となる時であることを明らかにした。DI の振幅を漸増させて極限応答のレベルとの関係を調べるダブルインパルスプッシュオーバー (DIP) という概念を新たに定義した。これは Cornell らによる、記録地震動に対する漸増プッシュオーバー解析 (Incremental Pushover 解析) を DI に拡張したものであるが、極限応答のみを対象とする点に独創性が存在する。また、系統別復旧シナリオを考慮したレジリエンスの概念を提示し、それを指標とする制振構造物の最適設計法を提案した (図 7)。さらに、地震動による総入力エネルギーの基準化を用いた極限的 DI の建物構造設計法への拡張理論を展開した。

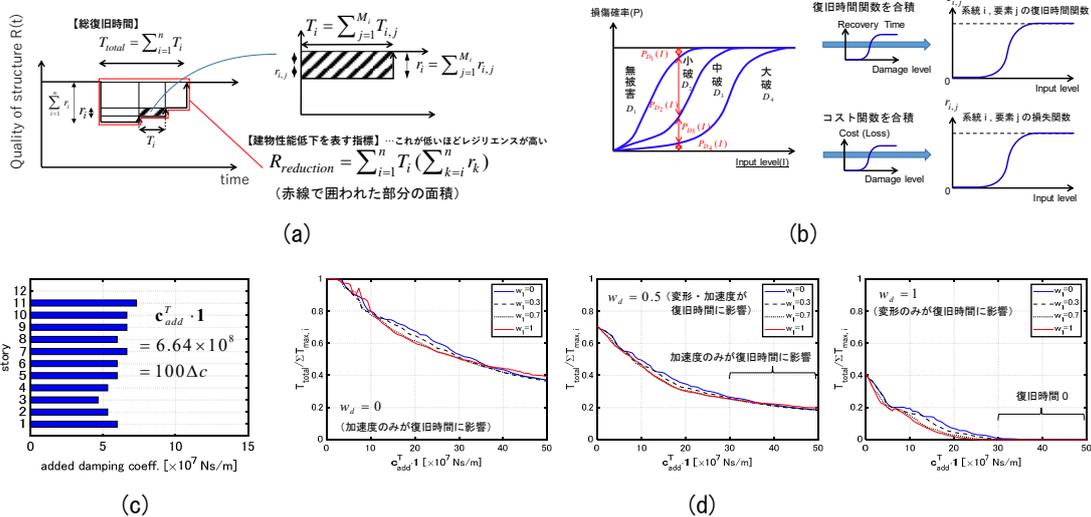


図 7 系統別復旧シナリオを考慮したレジリエンスの概念とそれを指標とするダンパー最適設計法

### (3) 長周期パルス波に対して有効な制振システムの開発

2016 年の熊本地震では、震度 7 の大振幅の揺れを 1-2 日の間に 2 度経験するという前代未聞の事象に遭遇した。また、断層近傍の西原村小森では、周期 3 秒で速度振幅 250m/s を有する「長周期パルス」が初めて記録され、今後の超高層建物の耐震設計に大きな課題を突き付けた。このような想定外のレベルの地震動に対応するには、図 2(b)の免震・制振ハイブリッド構造システムや、制振システムをストッパー的に用いることが有効であることを明らかにした。(図 8)

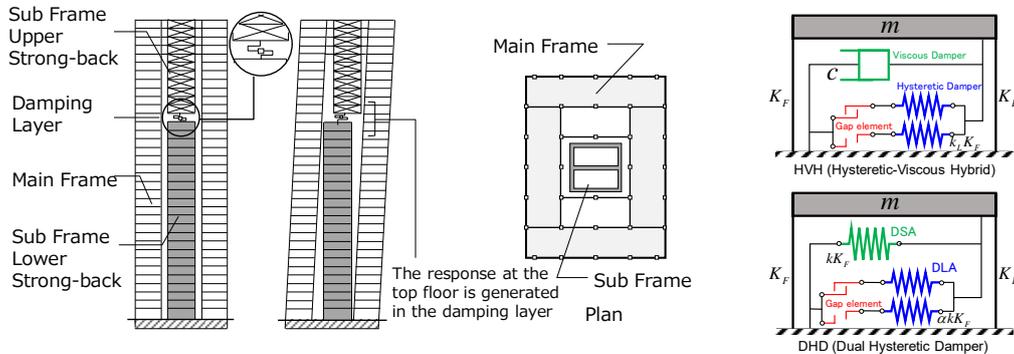


図 8 建物頂部の変位・速度を有効利用した制振システムと HVH・DHD 制振システム

### (4) 制振システムの損傷が建物応答性能に及ぼす影響の解明

DI に対する理論的定式化により、制振システムの損傷が建物応答性能に及ぼす影響を解明した。さらに、小型建物模型に対する振動台実験により、地震作用中にオイルダンパー取付部材が破断したときに生じる地震時最大応答逆転現象を再現した。また、数値シミュレーションによる応答増幅率と、実験により得られた応答増幅率がよく対応していることを確認した。(図 9)

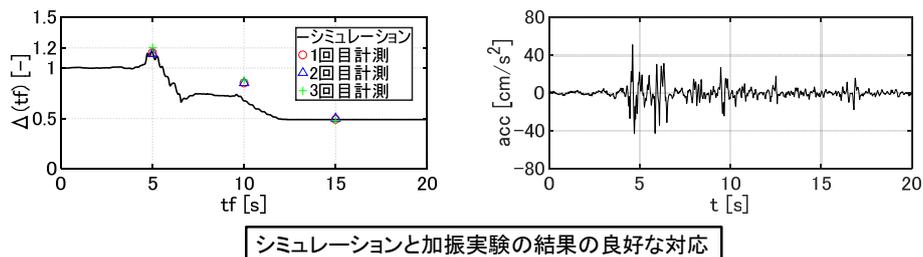


図 9 制振システムの損傷が建物応答性能に及ぼす影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 25件）

1. 著者名 Hashizume Shoki、Takewaki Izuru	4. 巻 6
2. 論文標題 Hysteretic-Viscous Hybrid Damper System With Stopper Mechanism for Tall Buildings Under Earthquake Ground Motions of Extremely Large Amplitude	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbuil.2020.583543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kawai Akira、Takewaki Izuru	4. 巻 6
2. 論文標題 Critical Response of Multi-Story Damped Bilinear Hysteretic Shear Building Under Multi Impulse as Representative of Long-Period, Long-Duration Earthquake Ground Motions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbuil.2020.588980	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki、Takewaki Izuru	4. 巻 6
2. 論文標題 Simultaneous Optimization of Elastic-Plastic Building Structures and Viscous Dampers Under Critical Double Impulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbuil.2020.623832	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takewaki Izuru、Akehashi Hiroki	4. 巻 7
2. 論文標題 Comprehensive Review of Optimal and Smart Design of Nonlinear Building Structures With and Without Passive Dampers Subjected to Earthquake Loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbuil.2021.631114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kawai Akira, Maeda Tatsuhiko, Takewaki Izuru	4. 巻 7
2. 論文標題 Critical Response of High-Rise Buildings With Deformation-Concentration Seismic Control System Under Double and Multi Impulses Representing Pulse-Type and Long-Duration Ground Motions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.649224	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishida Soichiro, Takewaki Izuru	4. 巻 7
2. 論文標題 Optimal Seismic Design of Stiffness and Gap of Hysteretic-Viscous Hybrid Damper System in Nonlinear Building Frames for Simultaneous Reduction of Interstory Drift and Acceleration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.656606	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 明橋弘樹, 竹脇 出	4. 巻 86
2. 論文標題 系統別復旧シナリオに基づくレジリエンス性能評価モデルと粘性ダンパーによるレジリエンス性能の改善	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 577 ~ 588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki, Takewaki Izuru	4. 巻 129
2. 論文標題 Ideal Drift Response Curve for Robust Optimal Damper Design for Elastic-Plastic MDOF Structures under Multi-Level Earthquakes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computer Modeling in Engineering & Sciences	6. 最初と最後の頁 1181 ~ 1207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32604/cmcs.2021.017204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki、Takewaki Izuru	4. 巻 150
2. 論文標題 Pseudo-double impulse for simulating critical response of elastic-plastic MDOF model under near-fault earthquake ground motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Dynamics and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.soildyn.2021.106887	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujita Kohei、Wataya Ryota、Takewaki Izuru	4. 巻 7
2. 論文標題 Robust Optimal Damper Placement of Nonlinear Oil Dampers With Uncertainty Using Critical Double Impulse	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.744973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Homma Sae、Nabeshima Kunihiko、Takewaki Izuru	4. 巻 7
2. 論文標題 Explicit Overturning Limit of Rigid Block Using Triple and Pseudo-Triple Impulses Under Critical Near-Fault Ground Motions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.731670	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 明橋弘樹、竹脇 出	4. 巻 86
2. 論文標題 弾塑性多層建物に対する履歴ダンパーの実数値GAと近傍探索を組み合わせた大域的最適設計法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1335 ~ 1344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.1335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Tomoya, Fujita Kohei, Takewaki Izuru	4. 巻 7
2. 論文標題 A Simple Critical Response Evaluation Method for Base-Isolation Building-Connection Hybrid System Under Double Impulse as Representative of Near-Fault Ground Motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.790584	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uemura Ryohei, Akehashi Hiroki, Fujita Kohei, Takewaki Izuru	4. 巻 7
2. 論文標題 Global Simultaneous Optimization of Oil, Hysteretic and Inertial Dampers Using Real-Valued Genetic Algorithm and Local Search	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.795577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki, Takewaki Izuru	4. 巻 250
2. 論文標題 Inverse optimal damper placement via shear model for elastic?plastic moment-resisting frames under large-amplitude ground motions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 113457 ~ 113457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2021.113457	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki, Takewaki Izuru	4. 巻 5
2. 論文標題 Bounding of earthquake response via critical double impulse for efficient optimal design of viscous dampers for elastic plastic moment frames	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	6. 最初と最後の頁 131 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2475-8876.12262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki、Takewaki Izuru	4. 巻 -
2. 論文標題 Frequency domain optimal viscous damper placement using lower bound transfer function and multimodal adaptability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Structural Control and Health Monitoring	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/stc.2951	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akehashi Hiroki、Takewaki Izuru	4. 巻 157
2. 論文標題 Closed-form critical response of undamped bilinear hysteretic MDOF system under pseudo-double impulse for estimating resonant response under one-cycle sine wave	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soil Dynamics and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 107254 ~ 107254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.soildyn.2022.107254	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K.Shintani, S.Yoshitomi, K.Fujita and I.Takewaki	4. 巻 5(103)
2. 論文標題 Stiffness and damping identification for asymmetric building frame with in-plane flexible floors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2019.00103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K.Kondo and I.Takewaki	4. 巻 5(126)
2. 論文標題 Simultaneous approach to critical fault rupture slip distribution and optimal damper placement for resilient building design	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2019.00126	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Akehashi and I. Takewaki	4. 巻 130
2. 論文標題 Comparative Investigation on Optimal Viscous Damper Placement for Elastic-Plastic MDOF Structures: Transfer Function Amplitude or Double Impulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soil Dynamics and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 105987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.soildyn.2019.105987	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Kawai, T. Maeda and I. Takewaki	4. 巻 6(29)
2. 論文標題 Smart seismic control system for high-rise buildings using large-stroke viscous dampers through connection to strong-back core frame	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2020.00029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Shintani, S. Yoshitomi and I. Takewaki	4. 巻 6(48)
2. 論文標題 Model-free identification of hysteretic restoring-force characteristic of multi-plane and multi-story frame model with in-plane flexible floor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2020.00048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Hashizume and I. Takewaki	4. 巻 6(62)
2. 論文標題 Hysteretic-viscous hybrid damper system for long-period pulse-type earthquake ground motions of large amplitude	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2020.00062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Homma, K. Kojima and I. Takewaki	4. 巻 6(84)
2. 論文標題 General dynamic collapse criterion for elastic-plastic structures under double impulse as substitute of near-fault ground motion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2020.00084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 辻聖晃, 小川勇大, 藤田皓平	4. 巻 104
2. 論文標題 ダンパー取付部材の破断によって生じる地震時最大応答逆転現象の小型模型振動台実験による検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鋼構造論文集	6. 最初と最後の頁 17-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11273/jssc.26.104_17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田村豪基, 小島紘太郎, 藤田皓平, 竹脇 出	4. 巻 83(753)
2. 論文標題 断層近傍地震動を受ける非線形粘性減衰を有する1自由度系弾塑性構造物の極限応答	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1617-1627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.83.1617	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Kojima, Y. Saotome and I. Takewaki	4. 巻 1(2)
2. 論文標題 Critical Earthquake Response of an SDOF Elastic-Perfectly Plastic Model with Viscous Damping under Double Impulse as a Substitute for Near-Fault Ground Motion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J. of Japan Architectural Review for Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 207-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2475-8876.10019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K.Makita, M.Murase, K.Kondo and I.Takewaki	4. 巻 4: 16
2. 論文標題 Robustness evaluation of base-isolation building-connection hybrid controlled building structures considering uncertainties in deep ground	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2018.00016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Makita, K. Kondo, I. Takewaki	4. 巻 4: 64
2. 論文標題 Critical ground motion for resilient building design considering uncertainty of fault rupture slip	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2018.00064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Saotome, K. Kojima, I. Takewaki	4. 巻 4: 81
2. 論文標題 Earthquake response of 2DOF elastic-perfectly plastic model under multiple impulse as substitute for long-duration earthquake ground motions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2018.00081	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Makita, K. Kondo, I. Takewaki	4. 巻 5: 2
2. 論文標題 Finite difference method-based critical ground motion and robustness evaluation for long-period building structures under uncertainty in fault rupture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2019.00002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 H. Akehashi
2. 発表標題 Efficient damper design method for elastic-plastic MDOF structures under consecutive-level earthquakes
3. 学会等名 COMPDYN 2021, 8th Int. Conf. on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Akehashi
2. 発表標題 Critical response of nonlinear base-isolated building considering soil-structure interaction
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kojima
2. 発表標題 Efficient critical excitation method using impulse input for pulse-like and long-duration ground motions
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 I. Takewaki and K. Kojima	4. 発行年 2021年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 314
3. 書名 An Impulse and Earthquake Energy Balance Approach in Nonlinear Structural Dynamics	

1. 著者名 S. Hashizume and I. Takewaki	4. 発行年 2021年
2. 出版社 CRC Press/ Taylor and Francis	5. 総ページ数 493
3. 書名 Reliability-Based Analysis and Design of Structures and Infrastructure	

1. 著者名 I. Takewaki, K. Kojima and S. Homma	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Hermes Science Publishing, ISTE-Wiley	5. 総ページ数 256
3. 書名 Modern trends in structural and solid mechanics (Chapter 7)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤田 皓平 (Fujita Kohei)  (40648713)	京都大学・工学研究科・准教授  (14301)	
研究分担者	辻 聖晃 (Tsuji Masaaki)  (00243121)	大阪電気通信大学・工学部・教授  (34412)	
研究分担者	吉富 信太 (Yoshitomi Shinta)  (30432363)	立命館大学・理工学部・教授  (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------